2Л

УДК 336.7

В.Е. Лялин, Р.Г. Хайбулин
Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск, Российская Федерация
velyalin@mail.ru

Применение метода анализа иерархий для оценки эффективности установок термического уничтожения отравляющих веществ

В статье исследуется и обосновывается возможность применения метода анализа иерархий для оценки эффективности установок термического уничтожения отравляющих веществ. Эффективность установок определяется несколькими факторами: производительность, трудоемкость, безопасность. Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений. По данной шкале эксперт ставит в соответствие степень предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим.

Рассматриваются установки термического обезвреживания отходов в п. Горный, корпус 33 (установка 1) и в г. Камбарка, корпус 44 (установка 2), осуществляющие сжигание отходов, образующихся в технологическом процессе уничтожения отравляющих веществ. Требуется оценить эти установки по комплексу показателей.

Установка 1 предназначена для обезвреживания жидких (сточных вод, горючих отходов и реакционной массы от детоксикации иприта) и твердых отходов, образующихся в технологическом процессе детоксикации и уничтожения люизита, иприта и их двойных, тройных смесей.

Мощность установки

Проектная мощность установки:

– по твердым отходам – 282,0 т/год;
– по жидким отходам – 1780,0 т/год.

Практическая мощность установки:

а) по твердым отходам:

– отработанный активированный уголь – 23 т/год;
– отработанные фильтры ФП-300 – 42,5 т/год;
– бочки продегазированные – 57 т/год;
– отработанные СИЗ – 78 т/год.

Усреднённая практическая мощность – 50,125 т/год.

б) по жидким отходам:

– до 1 152 т/год без сжигания твёрдых отходов в подовой печи;
– 600 т/год с учётом сжигания твёрдых отходов в подовой печи.

Термическое обезвреживание отходов предусматривает следующие основные стадии технологического процесса:

– сжигание жидких отходов и дожигание дымовых газов из печи с выдвижными подовыми тележками, резкое охлаждение дымовых газов (установка 100, рис. 1);
– сжигание твердых отходов (установка 200, рис. 2);
– очистка дымовых газов;
– очистка сточных вод.

Количество технологических линий – одна.

Метод производства

Обезвреживание отходов предусматривается термическим методом, который заключается в разложении отходов, окислении органических составляющих до продуктов полного сгорания и элементов в составе отходов при взаимодействии их с печной средой при высокой температуре (800 – 1200 С°), создаваемой за счет горения топлива (природного газа) и горючих отходов в объеме печи. Высокотоксичные твердые отходы производства обезвреживаются в печи с выдвижным подом при температуре 800 – 1000 JC (первая ступень сжигания). Отходящие из печи дымовые газы дожигаются в камере дожигания (вторая ступень сжигания) при температуре 1200 С°.

Сжигание жидких отходов предусматривается в камере дожигания (вторая ступень). В целях предотвращения образования диоксинов предусмотрено резкое охлаждение дымовых газов с температуры 1200 С° до 85 С°.

Очистка дымовых газов предусматривает:

– отделение крупных твердых частиц триокиси мышьяка и солей в скруббере с радиальным потоком (1 ступень);
– нейтрализацию кислых газообразных компонентов (HC1, SO2, HF) раствором щелочи в скруббере с насадкой (2 ступень);
– удаление мелких частиц пыли и аэрозоля солей в мокром электрофильтре (3 ступень).

Очистка сточных вод от системы очистки дымовых газов печей предусмотрена методом двухступенчатого химического осаждения мышьяка, с последующим выделением седиментацией мышьякосодержащих солей в твердом виде и обезвоживанием шлама в камерном фильтрпрессе. Работа установки термообезвреживания предусмотрена в условиях разрежения для исключения выхода неочищенного дымового газа в производственные помещения.

Установка 2 термического обезвреживания отходов на объекте УХО в г. Камбарка предназначена для сжигания твердых, жидких и газообразных отходов, образующихся в технологическом процессе детоксикации и уничтожения люизита.

Мощность установки

По твердым отходам.

Режим № 1. Штатный режим работы (без сжигания активированного угля), 47,0 – 193,2 т/год за 1525 – 6271 часов.

Режим № 1 В. Сжигание активированного угля, 17,8 – 66,8 т/год за 1729 – 6475 часов.

Режим № 2. Пожаротушение, 160 кг/час на одно пожаротушение.

Режим № 3. Только обжиг металла в целях дегазации (или без активированного угля соответственно), 1251 т/год за 6205 часов.

Усреднённая проектная мощность – 390 кг/сутки или 130 т/год.

Усреднённая практическая мощность – 300 кг/сутки или 100 т/год.

По газообразным отходам – 292 кг/час или 238 Нм^3/час (при производительности по люизиту 360 л/час), 308 кг/час или 251 Нм^3/час (при производительности по люизиту 440 л/час).

По жидким отходам – 580 кг/час.

Усреднённая практическая мощность – 542 кг/час или 4330 т/год.

Термическое обезвреживание отходов предусматривает следующие основные стадии технологического процесса:

– сжигание твердых отходов в подовой печи с выдвижными подовыми тележками;
– дожигание отходящих дымовых газов из печи с выдвижными подовыми тележками в камере дожига, резкое охлаждение дымовых газов и очистка дымовых газов на технологическом оборудовании;

– сжигание жидких и газообразных отходов, резкое охлаждение дымовых газов и очистка дымовых газов на технологическом оборудовании;
– реагентная очистка сточных вод (промывной воды от технологического оборудования по очистке дымовых газов).

Количество технологических линий – две.

Метод производства

Обезвреживание отходов предусматривается термическим методом, который заключается в разложении отходов, окислении органических составляющих до продуктов полного сгорания и элементов в составе отходов при взаимодействии их с печной средой при высокой температуре (800 – 1200 С°), создаваемой за счет горения топлива (природного газа) и газообразных отходов (азотно-ацетиленовая смесь) в объеме печи. Высокотоксичные твердые отходы производства обезвреживаются в печи с выдвижными подовыми тележками при температуре 800 – 1000 С° (первая ступень сжигания) и после чего отходящие из печи дымовые газы дожигаются в камере дожигания (вторая ступень сжигания) при температуре 1200 С°.

Сжигание жидких и газообразных отходов (азотно-ацетиленовая смесь) предусмотрено в печи сжигания – туракторе, при температуре более 1100 С°. В случае сбоев в работе линии сжигания жидких и газообразных отходов сжигание азотно-ацетиленовой смеси предусмотрено в камере дожигания отходящих дымовых газов из подовой печи. Схемы охлаждения и очистки дымовых газов на установках 1 и 2 аналогичны.

Проведем сравнение двух установок как систем с основными элементами:

1. Печь по сжиганию твердых отходов.
2. Камера дожигания.
3. Охлаждение и очистка дымовых газов.
4. Очистка сточных вод.
5. Очистка горячих сточных вод от систем очистки дымовых газов.
6. Технологические схемы установок.

Эффективность установок определяется несколькими факторами: производительность, трудоемкость, безопасность.

При количественной оценке критерия деятельности системы по совокупности параметров необходимо провести иерархическое представление влияющих факторов [1]. Для этих целей широко применяется метод анализа иерархий [2], являющийся одним из способов проведения сложных экспертиз. Разновидностью этого подхода является метод решающих матриц [3], [4]. Метод анализа иерархий предполагает декомпозицию проблемы на более простые составляющие. Построение иерархии начинается с очерчивания проблемы исследования. Цель располагается в вершине, промежуточные уровни образуют критерии и факторы [5].

Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений. По данной шкале эксперт ставит в соответствие степень предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим [6]. Для оценки относительной важности элементов используется девятибалльная шкала отношений. По этой шкале 1 соответствует одинаковой значимости элементов, а 9 соответствует абсолютной значимости. Правило заполнения матриц отношения: если элемент ρ_i доминирует над элементом ρ_j, то элемент матрицы a_{ij} равен целому числу μ по шкале отношений. Симметричная клетка матрицы $a_{ji} = 1/\mu$.

В соответствии с важностью элементов-потомков для вышестоящего элемента-родителя заполняется матрица парных сравнений $\mathbf{A}$. Размерность матрицы определяется числом потомков у родителя. Ранжирование элементов, анализируемых с использованием матрицы парных сравнений, осуществляется на основе вычисления главного собственного вектора данной матрицы. Главный собственный вектор определяется равенством $\mathbf{A}W = \lambda_{\max} W$, где $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное значение матрицы. Вектор W можно вычислить с использованием выражения $W = \frac{\mathbf{A}^k e}{e^T \mathbf{A}^k e}$, где $e^T = (1,...,1)$, а k – некоторое число, в которое возводится исходная матрица парных сравнений (как правило, достаточно взять $k \geq 5$). Компоненты вектора $W = (w_1,...,w_n)$ являются весами относительной важности рассматриваемых элементов для их элемента-родителя.

Степень важности элементов нижнего уровня для элементов, расположенных в иерархии на более высоких уровнях (например, относительная важность сценариев для проблемы), определяется с помощью иерархического синтеза.

Иерархическую структуру технологического процесса обезвреживания отходов представим в следующем виде (рис. 1).

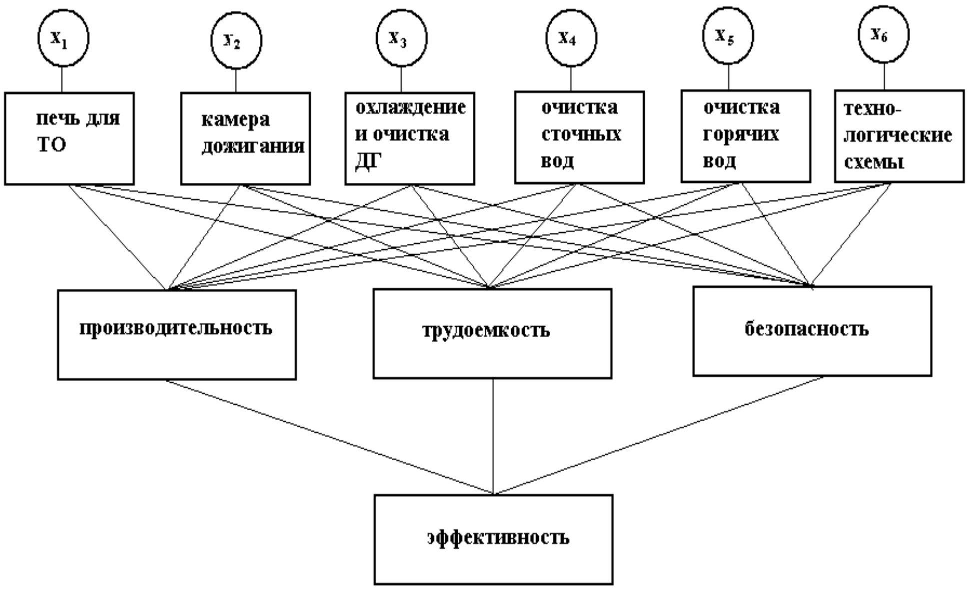


Рисунок 1 – Иерархическая структура системы обезвреживания отходов

Низший уровень образуют переменные, характеризующие систему $\mathbf{x} = (x_i)\, i = \overline{1,n}$. Результирующее значение эффективности y складывается с учетом весовых коэффициентов на предыдущих уровнях.

В общем виде оператор иерархического синтеза запишем в следующей форме:

$$S\colon\ \tilde{w}^{l+1}_{ij(l+1)} = \sum_{j(l)=1}^{n(l)} \tilde{w}^{l}_{ij(l)} w^{l+1}_{ij(l+1)}, l = \overline{1,L}; \qquad (1)$$

$$l=1 : \tilde{w}^{1}_{ij(l)} = w^{1}_{ij(1)},$$

где L – количество уровней иерархии; $n(l)$ – количество элементов на уровнях ($n(1) = n$, $n(L) = 1$).

Для количественной оценки величины $y(\mathbf{x})$ следует привести все значения переменных $\mathbf{x}$ к безразмерному виду:

$$\overline{x}_i = \left(x_i - x_i^{\min}\right) \Big/ \left(x_i^{\max} - x_i^{\min}\right), i = \overline{1,n}.$$

В этом случае преобразование $y(\mathbf{x})$ примет вид:

$$y = \sum_{i=1}^{n} \tilde{w}_{i1}^{L} \overline{x}_i, \; y \in [0,1]. \quad (2)$$

Ниже представлены матрицы парных сравнений, заполненные экспертами.

Матрица $\mathbf{W}_1^1$

1	3	0,5
0,33	1	0,25
2	4	1

Матрица $\mathbf{W}_1^1$

1	3	0,5
0,33	1	0,25
2	4	1

Матрица $\mathbf{W}_2^2$

1	1	2	2,5	3	0,5
1	1	2	2	1	0,5
0,5	0,5	1	0,33	0,5	0,33
0,4	0,5	3	1	0,5	0,5
0,33	1	2	2	1	0,5
2	2	3	2	2	1

Матрица $\mathbf{W}_3^2$

1	0,5	1	1	1	0,5
2	1	1,5	1,5	1	0,5
1	0,67	1	0,33	0,5	0,33
1	0,67	3	1	0,5	0,5
1	1	2	2	1	0,5
2	2	3	2	2	1

Показатели однородности суждений экспертов для составленных матриц равны: $J_1^1 = 0,016$; $J_1^2 = 0,048$; $J_2^2 = 0,050$; $J_3^2 = 0,034$.

Все значения показателей меньше 0.1, что свидетельствует о непротиворечивости составленных матриц парных сравнений.

Значения векторов приоритетов, полученные по результатам обработки экспертных матриц парных сравнений и соответствующие иерархии на рис. 1, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения векторов приоритетов

j	1	2	3
w_j^1	0,32	0,12	0,56
w_{1j}^2	0,21	0,22	0,12
w_{2j}^2	0,16	0,17	0,18
w_{3j}^2	0,07	0,07	0,09
w_{4j}^2	0,11	0,11	0,14
w_{5j}^2	0,14	0,14	0,18
w_{6j}^2	0,3	0,28	0,29

Экспертные оценки показателей трех систем в десятибалльной шкале представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Оценка показателей установок

система	1	2	3
x	7	9	9
	8	7,5	8
	8,5	8	8
	7,5	7,5	7,5
	8	7	8
	5	9	9

Системы 1 и 2 соответствуют рассмотренным выше установкам 1 и 2. Система 3 является гипотетической, в которой собраны лучшие элементы систем 1 и 2.

Расчеты эффективности рассматриваемых систем, проведенные по формулам (1) и (2), дали следующие значения:

– система 1, $y = 0,69$;

– система 2, $y = 0,81$;

– система 3, $y = 0,84$.

По результатам сделанных оценок следует, что установка термического обезвреживания отходов на объекте УХО в г. Камбарка по комплексу свойств эффективнее установки в п. Горном. Применение вертикальной схемы дожигания и охлаждения в установке 2 дают третий вариант технологического процесса с более высокой эффективностью.

Литература

1. Киселева М.В., Степанова Т.А., Попов С.К. Экспертная система как средство выбора оптимальных технических решений по обезвреживанию твердых бытовых отходов // Техн., экон. и экол. проблемы энергосбережения: Матер. Междунар. конф., Саратов, 2 – 3 окт. 2001 г. – Саратов: СГТУ, 2001. – С.40-42.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
3. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высш. шк., 2004. – 616 с.
4. Поспелов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление. – М.: Сов. радио, 1976. – 440 с.
5. Волкова В.Н., Денисов А.А. Методы организации сложных экспертиз. – СПб.: СПбГТУ, 2001. – 48 с.
6. Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1992. – 184 с.

В.Є. Лялін, Р.Г. Хайбулін

Застосування методу аналізу ієрархій для оцінки ефективності установок термічного знищення отруйних речовин

У статті досліджується і обгрунтовується можливість застосування методу аналізу ієрархій для оцінки ефективності установок термічного знищення отруйних речовин. Ефективність установок визначається декількома факторами: продуктивність, трудомісткість, безпечність. Для встановлення відносної важливості елементів ієрархії використовується шкала відносин. За даною шкалою експерт ставить у відповідність ступінь переваги одного порівнюваного об'єкту перед іншим.

V.Ye. Lyalin, R.G. Haibulin

Implementation of Hierarchy Analysis Method to Evaluate Efficiency of Thermal Elimination of Poison Matters Device

This article discuss possibilities of usage hierarchy analysis to evaluate effectiveness of thermal elimination of poison matters device. Efficiency of settings is determined a few factors: productivity, labour intensiveness, safety. For establishment of relative importance of elements of hierarchy the scale of relations is used. On this scale an expert puts in accordance the degree of preference of one compared object.

Статья поступила в редакцию 10.07.2008.